

**ANALISIS KUALITAS DAYA LISTRIK DI PABRIK GULA TRANGKIL PATI
DENGAN MENGGUNAKAN *SOFTWARE* ETAP 12.6**



PUBLIKASI ILMIAH

Disusun sebagai salah satu syarat menyelesaikan Program Studi Strata I pada Jurusan

Teknik Elektro

Fakultas Teknik

Oleh:

BENY CANDRA GIRI

D 400 120 019

PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SURAKARTA

2016

HALAMAN PERSETUJUAN

**ANALISIS KUALITAS DAYA LISTRIK DI PABRIK GULA TRANGKIL PATI
DENGAN MENGGUNAKAN *SOFTWARE* ETAP 12.6**

PUBLIKASI ILMIAH

oleh:

BENY CANDRA GIRI

D 400 120 019

Telah diperiksa dan disetujui untuk diuji oleh:

Dosen Pembimbing

Agus Supardi, S.T., M.T
NIK. 883

HALAMAN PENGESAHAN

ANALISIS KUALITAS DAYA LISTRIK DI PABRIK GULA TRANGKIL PATI DENGAN MENGGUNAKAN *SOFTWARE* ETAP 12.6

OLEH

BENY CANDRA GIRI

D 400 120 019

Telah dipertahankan di depan Dewan Penguji
Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Elektro
Universitas Muhammadiyah Surakarta
Pada hari , 2016
dan dinyatakan telah memenuhi syarat

Dewan Penguji :

1. Agus Supardi, S.T., M.T
(Ketua Dewan Penguji)
2. Ir. Jatmiko, M.T
(Anggota I Dewan Penguji)
3. Aris Budiman, S.T., M.T
(Anggota II Dewan Penguji)

(.....)

(.....)

(.....)

Dekan,



Ir. Sri Sumartono, M.T., Ph.D
NIK. 682

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu perguruan tinggi dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Apabila kelak terbukti ada ketidakbenaran dalam pernyataan saya di atas, maka akan saya pertanggungjawabkan sepenuhnya.

Surakarta, 16 April 2016
Penulis



BENY CANDRA GIRI

D 400 120 019

ANALISIS KUALITAS DAYA LISTRIK DI PABRIK GULA TRANGKIL PATI DENGAN MENGGUNAKAN *SOFTWARE* ETAP 12.6

Beny Candra Giri

Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta
benycandragiri@gmail.com

Agus Supardi

Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta
Agus.Supardi@ums.ac.id

Abstrak

Kualitas daya listrik merupakan hal yang sangat diperhatikan di Pabrik Gula Trangkil Pati. Dalam perkembangan kelistrikan di Pabrik Gula Trangkil Pati telah terjadi penurunan kualitas daya listrik. Permasalahan yang menyebabkan penurunan kualitas daya listrik diantaranya adalah penurunan faktor daya dan distorsi harmonik. Maka dilakukan analisis kualitas daya listrik untuk menyelesaikan permasalahan penurunan faktor daya dan distorsi harmonik di Pabrik Gula Trangkil Pati. Metode yang digunakan dengan cara memodelkan sistem kelistrikan pada Pabrik Gula Trangkil Pati menggunakan *software* ETAP 12.6. Hasil simulasi dari *software* ETAP 12.6 akan dianalisis dan digunakan untuk menyelesaikan permasalahan kualitas daya listrik. Berdasarkan hasil simulasi yang dilakukan maka perlu dilakukan perbaikan faktor daya dan pemasangan filter harmonik pada sistem kelistrikan di Pabrik Gula Trangkil. Hasil dari perbaikan faktor daya dengan penambahan kapasitor bank yaitu efektivitas daya listrik yang dibangkitkan dapat dinaikkan. Drop tegangan juga dapat diturunkan dari kondisi marginal menjadi kondisi normal. Pemasangan filter harmonik dapat menurunkan nilai distorsi harmonik pada bus 36 dan bus 49. Pada bus 36 nilai THDi turun sebesar 27.01% dari 43.76% menjadi 16.75%, sedangkan nilai THDv turun sebesar 3.89% dari 5.14% menjadi 1.25%. Untuk bus 49 nilai THDi turun sebesar 23.51% dari 32.92% menjadi 9.41%, sedangkan nilai THDv turun sebesar 3.76% dari 4.81% menjadi 1.05%.

Kata Kunci: kualitas daya listrik, perbaikan faktor daya, filter harmonik.

Abstract

Power quality is very important thing in the Sugar Factory of Trangkil Pati. In the development of electricity in the Sugar Factory of Trangkil Pati, the power quality is decrease. The power quality problems is caused by the reduction of the power factor and harmonic distortion. Then, electric power quality analysis is done to solve the problems of decrease the power factor and harmonic distortion in the Sugar Factory of Trangkil Pati. The method used by modeling the electrical system on the Sugar Factory of Trangkil Pati using software ETAP 12.6. The simulation results of ETAP 12.6 software will be analyzed and used to determine the solution of power quality problems. Based on the simulation results it is needed to improve the power factor and to install harmonic filter at electrical system in the Sugar Factory of Trangkil Pati. Results of power factor by using capacitor banks is raising the effectiveness of electric power generated. The voltage drop also can be reduced from marginal condition becomes normal conditions. The installation of a harmonic filter can reduce harmonic distortion value on bus 36 and bus 49. On the bus 36 THDi value decreased by 27.01% from 43.76% to 16.75%, while THDv value decreased by 3.89% from 5.14% to 1.25%. For bus 49 THDi value decreased by 23.51% from 32.92% to 9.41%, while THDv value decreased by 3.76% from 4.81% to 1.05%.

Keywords: power quality, power factor, harmonic filter.

1. PENDAHULUAN

Energi listrik merupakan kebutuhan pokok bagi manusia dalam kehidupan sehari-hari. Salah satunya adalah pemanfaatan energi listrik dalam bidang industri. Energi listrik merupakan penggerak utama dari alat-alat yang digunakan dalam industri. Sistem pengelolaan kelistrikan yang baik sangat diperlukan dalam kemajuan dari sebuah industri.

Pabrik Gula Trangkil Pati merupakan salah satu industri yang mengalami perkembangan yang cepat dan semakin kompleks. Seiring dengan perkembangannya, juga terjadi permasalahan yang terjadi. Permasalahan kelistrikan tersebut akan menurunkan kualitas daya listrik yang disalurkan dari sumber pembangkitan listrik ke beban. Kualitas daya listrik merupakan suatu konsep yang memberikan gambaran tentang baik atau buruknya mutu daya listrik akibat adanya beberapa

jenis gangguan yang terjadi pada sistem kelistrikan. Permasalahan yang sering terjadi adalah penurunan faktor daya dan distorsi harmonik.

Faktor daya atau $\cos \phi$ merupakan perbandingan dari daya aktif dengan daya semu. Semakin besar faktor daya maka daya listrik yang disalurkan semakin efektif. Khanchi (2013) menyatakan bahwa penghematan daya listrik akan dapat dicapai dengan memperbaiki faktor daya. PLN sebagai penyedia layanan listrik memberikan standar faktor daya untuk industri besar yaitu pada nilai $\cos \phi$ 0,85. Apabila pemakaian listrik beroperasi pada faktor daya di bawah nilai tersebut, maka akan dikenakan biaya tambahan dalam pembayaran listrik dari sebuah industri. Pabrik Gula Trangkil sebagai industri yang mempunyai pembangkit listrik sendiri, faktor daya juga tetap harus diperhatikan karena berpengaruh pada efektivitas energi listrik yang dapat digunakan. Semakin tinggi faktor daya yang dimiliki oleh Pabrik Gula Trangkil maka akan semakin efektif energi yang dapat dihasilkan.

Masalah penurunan faktor daya di Pabrik Gula Trangkil disebabkan oleh semakin banyaknya variasi beban yang bersifat induktif. Beban yang bersifat induktif tidak hanya membutuhkan daya aktif tetapi juga daya reaktif. Beban induktif diciptakan oleh lilitan kawat (kumparan) yang terdapat di berbagai alat listrik seperti motor listrik, trafo dan relay. Daya reaktif yang dibutuhkan oleh beban induktif ini yang membuat nilai $\cos \phi$ turun. Untuk mengurangi daya reaktif maka diberikan komponen berupa kapasitor. Kapasitor merupakan beban kapasitif yang menghasilkan suplai daya reaktif yang dibutuhkan oleh beban induktif. Dengan pemasangan kapasitor bank, $\cos \phi$ yang jatuh akan dapat dinaikkan (Tiwari et al., 2014).

Permasalahan kelistrikan lain yang terjadi di Pabrik Gula Trangkil adalah distorsi harmonik. Harmonik adalah gangguan yang timbul pada sistem distribusi tenaga listrik akibat adanya distorsi gelombang arus dan tegangan. Harmonik didefinisikan sebagai gejala terjadinya gelombang-gelombang dengan frekuensi berbeda yang merupakan hasil perkalian bilangan bulat dengan frekuensi fundamental (50 Hz atau 60 Hz). Sistem kelistrikan dengan frekuensi fundamental 50 Hz, maka harmonik kedua adalah gelombang dengan nilai frekuensi 100 Hz, harmonik ketiga adalah gelombang dengan nilai frekuensi 150 Hz dan seterusnya. Gelombang-gelombang ini kemudian menumpang pada gelombang murninya sehingga terbentuk gelombang cacat yang merupakan jumlah antara gelombang murni sesaat dengan gelombang harmoniknya.

Permasalahan distorsi harmonik mengakibatkan gangguan yang fatal pada sistem kelistrikan. Harmonik dapat menyebabkan bertambahnya torsi pada kWh meter jenis elektromekanis yang kerjanya menggunakan piringan induksi putar. Akibatnya, putaran piringan menjadi lebih cepat dan terjadi kesalahan ukur pada kWh meter karena piringan induksi tersebut didesain hanya untuk bekerja pada frekuensi dasar. Harmonik juga dapat menimbulkan terjadinya panas berlebih pada motor listrik dan kegagalan kerja pada relay.

Permasalahan harmonik tersebut disebabkan oleh pengoprasian beban-beban listrik yang bersifat non linear. Kusumalatha (2012) menyatakan dalam penelitiannya bahwa dengan meningkatnya pemakaian beban non linier pada sistem maka gangguan harmonik menjadi semakin meningkat. Beban non linear merupakan beban dengan bentuk gelombang keluarannya tidak sebanding dalam setiap setengah siklus sehingga bentuk gelombang arus maupun bentuk tegangan keluarannya tidak sama dengan gelombang masukannya atau terjadi distorsi. Beban non linier dalam kerjanya memanfaatkan bahan-bahan semikonduktor. Salah satu contoh dari beban non linear adalah VFD (*Variable Speed Drive*) yang banyak digunakan di Pabrik Gula Trangkil untuk pengaturan kecepatan motor.

Permasalahan tentang distorsi harmonik perlu dilakukan penanganan lebih lanjut. Hal ini dilakukan agar sistem di Pabrik Gula Trangkil terhindar dari bahaya yang ditimbulkan oleh distorsi harmonik. Salah satu usaha penanganan yang dapat dilakukan untuk mengatasi permasalahan distorsi harmonik adalah dengan pemasangan filter harmonik. Pemasangan filter harmonik dapat menurunkan distorsi harmonik dari VFD (Tamilvani et al., 2014). Selain itu, pemasangan filter harmonik juga dapat menaikkan faktor daya. Filter harmonik yang sering digunakan adalah filter pasif. Filter pasif terdiri dari komponen R, L, dan C. Filter harmonik ini akan bekerja untuk menyaring frekuensi harmonik yang tidak diinginkan pada sistem. Setelah frekuensi harmonik turun pada level standar maka kualitas daya listrik dari sistem telah dinaikkan (Mhawi et al., 2015).

1.1 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang diuraikan di atas, maka rumusan masalah yang akan dikaji dalam penelitian ini adalah :

1. Bagaimana hasil analisis aliran beban listrik di Pabrik Gula Trangkil Pati dengan menggunakan *software* ETAP 12.6?
2. Berapa nilai kapasitor bank yang digunakan untuk perbaikan faktor daya di Pabrik Gula Trangkil Pati dengan menggunakan *software* ETAP 12.6?
3. Bagaimana hasil analisis harmonik di Pabrik Gula Trangkil Pati dengan menggunakan *software* ETAP 12.6?
4. Bagaimana merancang filter harmonik pada sistem kelistrikan di Pabrik Gula Trangkil Pati dengan menggunakan *software* ETAP 12.6 ?

1.2 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang dikaji maka penelitian ini bertujuan untuk :

1. Mengetahui aliran beban listrik yang terjadi di Pabrik Gula Trangkil Pati dengan menggunakan *software* ETAP 12.6.
2. Mengetahui nilai kapasitor bank yang digunakan untuk perbaikan faktor daya di Pabrik Gula Trangkil Pati dengan menggunakan *software* ETAP 12.6
3. Mengetahui besarnya nilai distorsi harmonik pada sistem kelistrikan di Pabrik Gula Trangkil Pati dengan menggunakan *software* ETAP 12.6.
4. Merancang filter harmonik pada sistem kelistrikan di Pabrik Gula Trangkil Pati dengan menggunakan *software* ETAP 12.6.

1.3 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan pada penulisan penelitian ini antara lain adalah :

1. Menambah pengetahuan pada bidang elektro khususnya konsentrasi sistem tenaga listrik dalam hal pemanfaatan *software* ETAP 12.6 untuk menganalisis sistem kelistrikan terkait analisis faktor daya dan analisis harmonik dalam peningkatan kualitas daya listrik pada industri.
2. Peneliti dapat mengetahui bagaimana cara menganalisis sistem kelistrikan terkait masalah faktor daya listrik dan harmonik serta dapat menentukan nilai kapasitor bank dan filter harmonik yang dipasang dalam perbaikan kualitas daya listrik pada industri tersebut.
3. Hasil analisis dapat digunakan oleh industri sebagai rujukan mengenai sistem kelistrikan yang ada serta gangguan kelistrikan yang dialaminya.

2. METODE

Penelitian yang berjudul analisis kualitas daya listrik di Pabrik Gula Trangkil Pati menggunakan *software* ETAP 12.6 ini dapat diselesaikan dalam waktu pengerjaan selama 4 bulan. Penelitian dilakukan dengan tahapan konsultasi dengan dosen pembimbing, studi literatur, pembuatan proposal, pengambilan data, penelitian terhadap data yang diperoleh dengan *software* ETAP 12.6, analisa data dan pembuatan laporan.

2.1 Studi Literatur

Adalah proses mencari refrensi-refrensi serta informasi yang berhubungan dengan penelitian yang dilakukan. Sumber informasi diperoleh dari artikel publikasi, buku, skripsi, dan karya-karya ilmiah lainnya. Refrensi-refrensi yang dicari adalah materi yang terkait dengan penelitian yang dilakukan.

2.2 Pengumpulan Data

Data *single line diagram* sistem kelistrikan yang digunakan untuk simulasi dalam *software* ETAP 12.6 diperoleh dari penelitian di Pabrik Gula Trangkil Pati. Data yang dibutuhkan dalam simulasi berupa data parameter generator, trafo, kabel, motor, beban statik, kapasitor, dan juga data gangguan harmonik dari beban statik dan VFD.

2.3 Pengolahan Data

Proses pengolahan data yang diperoleh ini dilakukan dengan *software* ETAP 12.6 dengan tahapan sebagai berikut :

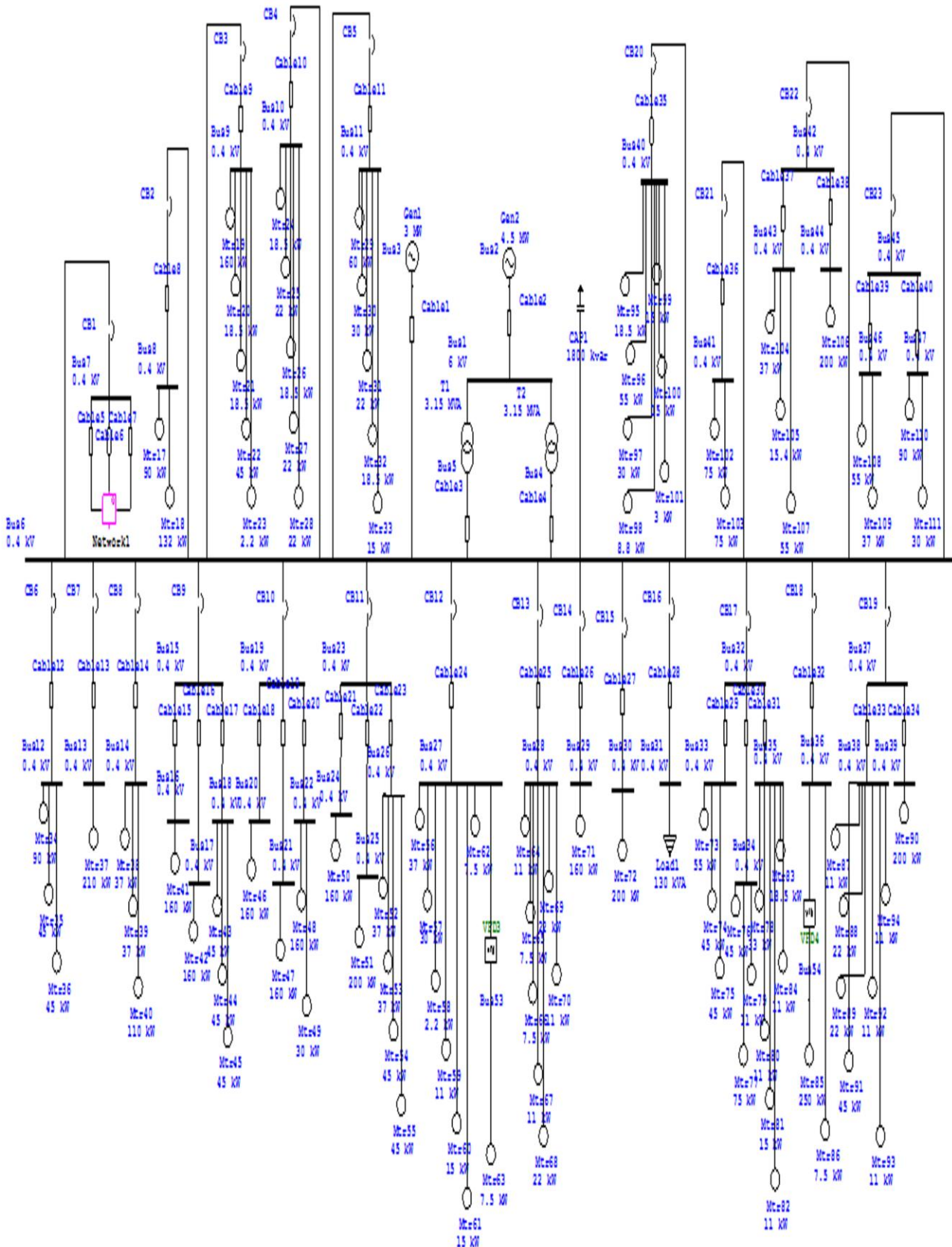
1. Melakukan simulasi aliran beban untuk mengetahui keadaan aliran beban dan kualitas daya listrik yang ada di Pabrik Gula Trangkil.
2. Menentukan besar nilai kapasitor bank yang akan digunakan untuk perbaikan faktor daya.
3. Menganalisis hasil simulasi dari *software* ETAP 12.6 tentang perbaikan faktor daya terhadap sistem kelistrikan.
4. Melakukan simulasi analisis harmonik untuk menentukan besar gangguan harmonik yang ditimbulkan dari beban non linier berupa beban statik dan VFD (*Variable Speed Drive*).
5. Perancangan filter harmonik apabila gangguan harmonik melebihi standar yang diizinkan.
6. Menganalisis hasil pemasangan filter harmonik dari data keluaran *software* ETAP 12.6.

2.4 Alat Dan Bahan

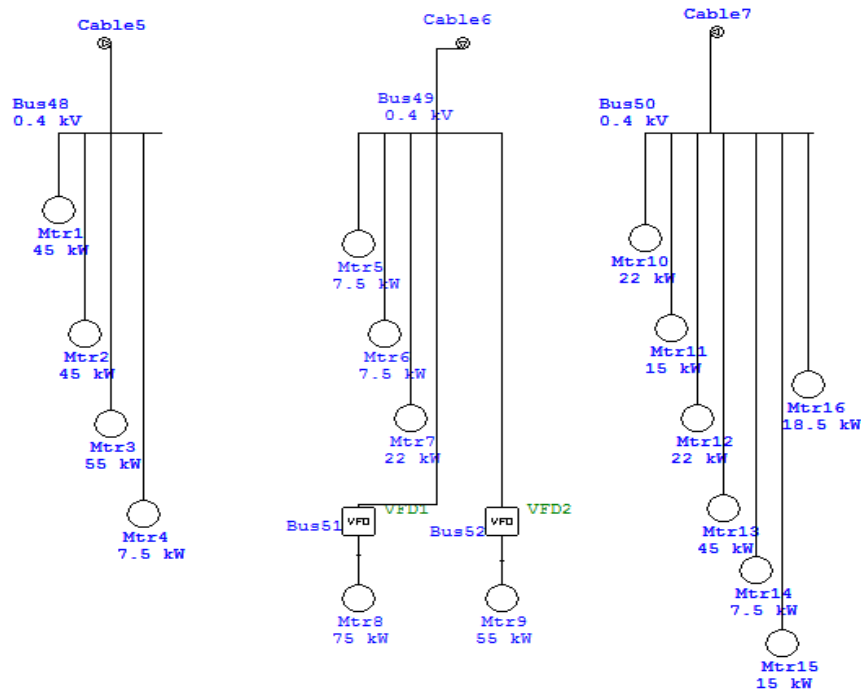
Perlengkapan yang dipakai dalam melakukan penelitian ini adalah perangkat keras berupa laptop atau PC (*Personal Computer*), yang dilengkapi dengan *Software* ETAP 12.6. Perlengkapan tersebut yang digunakan dalam menganalisis kualitas daya listrik di Pabrik Gula Trangkil Pati yang mencakup analisis perbaikan faktor daya dan analisis harmonik.

2.5 Gambaran Sistem Distribusi Listrik di Pabrik Gula Trangkil Pati

Penelitian yang dilakukan mengambil data kelistrikan di Pabrik Gula Trangkil Pati seperti ditunjukkan pada gambar di bawah ini.

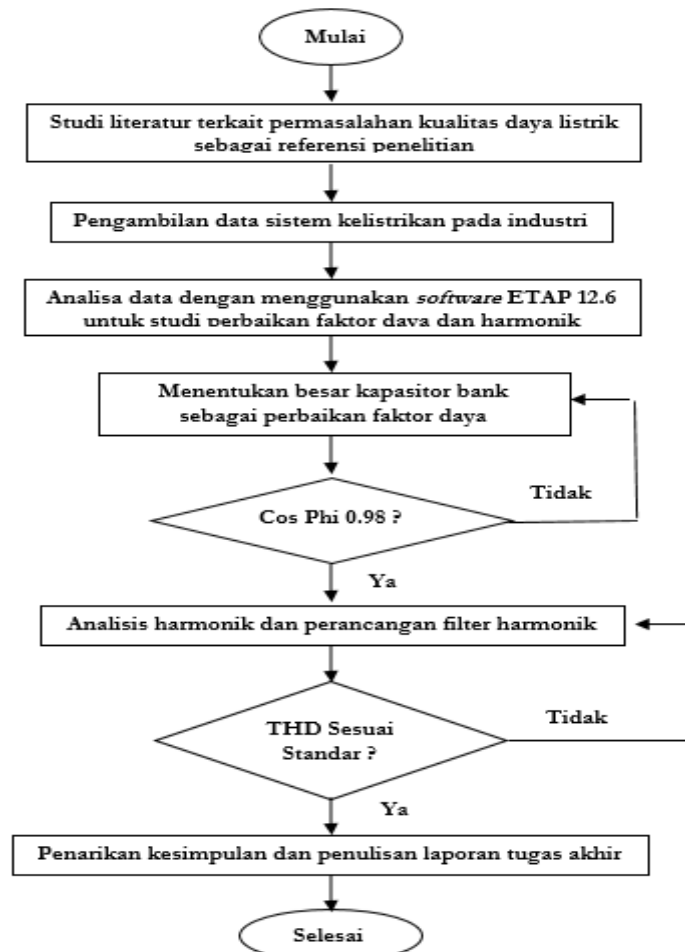


Gambar 1. Sistem kelistrikan di Pabrik Gula Trangkil Pati dalam simulasi ETAP 12.6 bagian 1



Gambar 2. Sistem kelistrikan di Pabrik Gula Trangkil Pati dalam simulasi ETAP 12.6 bagian 2

2.6 Flowchart Penelitian

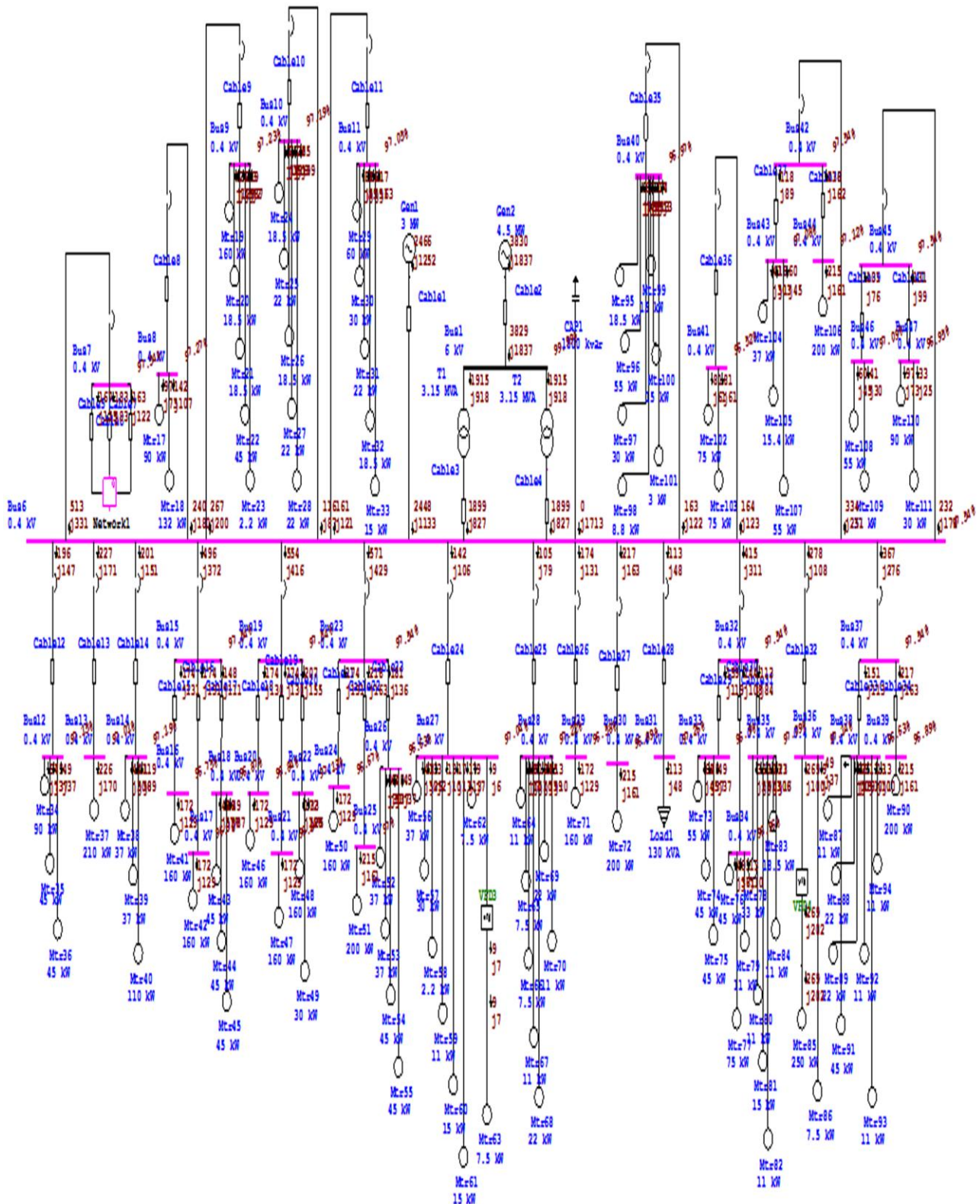


Gambar 3. Flowchart Penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Simulasi Analisis Aliran Beban

Analisis aliran beban dengan menggunakan *software* ETAP 12.6 dilakukan untuk mengetahui aliran daya listrik di Pabrik Gula Trangkil. Dari hasil report *software* ETAP dapat diketahui keadaan faktor daya serta permasalahan kelistrikan seperti kelebihan beban listrik, drop tegangan, rugi-rugi daya, dan lain-lain.



Gambar 4. Hasil simulasi aliran beban sistem kelistrikan di Pabrik Gula Trangkil sebelum perbaikan faktor daya

Tabel 1. Hasil Report ETAP 12.6 tentang bus yang mengalami drop tegangan dalam kondisi marginal sebelum perbaikan faktor daya

No.	Marginal Alerts Reports				
	Device ID	Condition	Rating Limit (kV)	Operating (kV)	% Operating
1	Bus 10	Under Voltage	0.400	0.389	97.2
2	Bus 11	Under Voltage	0.400	0.388	97.1
3	Bus 12	Under Voltage	0.400	0.389	97.1
4	Bus 13	Under Voltage	0.400	0.388	97.0
5	Bus 14	Under Voltage	0.400	0.389	97.2
6	Bus 15	Under Voltage	0.400	0.390	97.5
7	Bus 16	Under Voltage	0.400	0.387	96.8
8	Bus 17	Under Voltage	0.400	0.387	96.8
9	Bus 18	Under Voltage	0.400	0.387	96.9
10	Bus 19	Under Voltage	0.400	0.390	97.5
11	Bus 20	Under Voltage	0.400	0.387	96.8
12	Bus 21	Under Voltage	0.400	0.387	96.8
13	Bus 22	Under Voltage	0.400	0.389	97.1
14	Bus 23	Under Voltage	0.400	0.390	97.5
15	Bus 24	Under Voltage	0.400	0.387	96.7
16	Bus 25	Under Voltage	0.400	0.388	97.0
17	Bus 26	Under Voltage	0.400	0.387	96.6
18	Bus 27	Under Voltage	0.400	0.388	97.0
19	Bus 28	Under Voltage	0.400	0.389	97.2
20	Bus 29	Under Voltage	0.400	0.386	96.6
21	Bus 30	Under Voltage	0.400	0.388	96.9
22	Bus 31	Under Voltage	0.400	0.389	97.3
23	Bus 32	Under Voltage	0.400	0.390	97.5
24	Bus 33	Under Voltage	0.400	0.388	96.9
25	Bus 34	Under Voltage	0.400	0.388	97.0
26	Bus 35	Under Voltage	0.400	0.388	97.1
27	Bus 36	Under Voltage	0.400	0.389	97.1
28	Bus 37	Under Voltage	0.400	0.390	97.5
29	Bus 38	Under Voltage	0.400	0.387	96.6
30	Bus 39	Under Voltage	0.400	0.388	96.9
31	Bus 4	Under Voltage	0.400	0.391	97.6
32	Bus 40	Under Voltage	0.400	0.388	97.0
33	Bus 41	Under Voltage	0.400	0.386	96.5
34	Bus 42	Under Voltage	0.400	0.390	97.5
35	Bus 43	Under Voltage	0.400	0.388	97.1
36	Bus 44	Under Voltage	0.400	0.388	97.1
37	Bus 45	Under Voltage	0.400	0.390	97.5
38	Bus 46	Under Voltage	0.400	0.388	97.1
39	Bus 47	Under Voltage	0.400	0.388	96.9
40	Bus 48	Under Voltage	0.400	0.389	97.2
41	Bus 49	Under Voltage	0.400	0.389	97.3
42	Bus 5	Under Voltage	0.400	0.391	97.6
43	Bus 50	Under Voltage	0.400	0.389	97.2
44	Bus 6	Under Voltage	0.400	0.390	97.5
45	Bus 7	Under Voltage	0.400	0.390	97.5
46	Bus 8	Under Voltage	0.400	0.389	97.3
47	Bus 9	Under Voltage	0.400	0.389	97.2

Tabel 2. Hasil Report ETAP 12.6 tentang kebutuhan total daya dan rugi-rugi daya sebelum perbaikan faktor daya

Summary Of Total Generation, Loading & Demand				
	MW	Mvar	MVA	% PF
Source (Swing Bus)	6.295	3.089	7.012	89.77 Lagging
Total Demand	6.295	3.089	7.012	89.77 Lagging
Total Motor Load	6.102	4.576	7.628	80.00 Lagging
Total Static Load	0.113	-1.664	1.668	6.78 Leading
Apparent Losses	0.080	0.177	-	-

Hasil simulasi sebelum dilakukan perbaikan faktor daya ditunjukkan oleh gambar 4, tabel 1, dan tabel 2. Gambar 4 menunjukkan terjadinya drop tegangan pada bus-bus dalam kondisi marginal. Bus-bus yang mengalami drop tegangan dalam kondisi marginal memiliki warna merah muda dalam *single line* diagram. Nilai drop tegangan dari bus-bus yang mengalami drop tegangan dalam kondisi marginal dapat dilihat dari tabel 1. Kondisi marginal terjadi apabila tegangan pada bus berada pada level 95% sampai 98%.

Selanjutnya tabel 2 merupakan tabel yang menunjukkan hasil dari daya total dan rugi-rugi daya dari sistem kelistrikan sebelum dilakukan perbaikan faktor daya. Rugi-rugi daya aktif yang terjadi yaitu sebesar 80 kW. Dari tabel 2 juga dapat diketahui faktor daya dari sistem yaitu 89.77% *lagging*. Dengan faktor daya tersebut, membutuhkan daya semu sebesar 7.012 MVA untuk menghasilkan daya aktif sebesar 6.295 MW. Agar efektivitas daya lebih baik maka akan dilakukan perbaikan faktor daya untuk meningkatkan kualitas daya listrik. Faktor daya akan dinaikkan dari 89.77% *lagging* menjadi 98% *lagging* dengan cara menambahkan kapasitor bank.

3.2 Perhitungan Kapasitor Bank Untuk Perbaikan Faktor Daya

Perbaikan faktor daya listrik dapat dilakukan dengan penambahan kapasitor bank pada sistem. Perhitungan dalam penambahan kapasitor bank dapat dirumuskan dengan persamaan :

$$Q_c = P (\tan \theta_1 - \tan \theta_2) \quad (1)$$

Persamaan di atas digunakan untuk menentukan besar kapasitor bank yang akan ditambahkan untuk memperbaiki faktor daya. Q_c merupakan nilai daya reaktif yang ingin diperbaiki dalam satuan kVAR. P merupakan daya aktif dari sumber listrik yaitu generator. Sedangkan θ_1 adalah nilai sudut faktor daya sebelum perbaikan dan θ_2 adalah nilai sudut faktor daya setelah perbaikan. Dari persamaan di atas, maka hasil perhitungan besar faktor daya yang akan ditambahkan adalah :

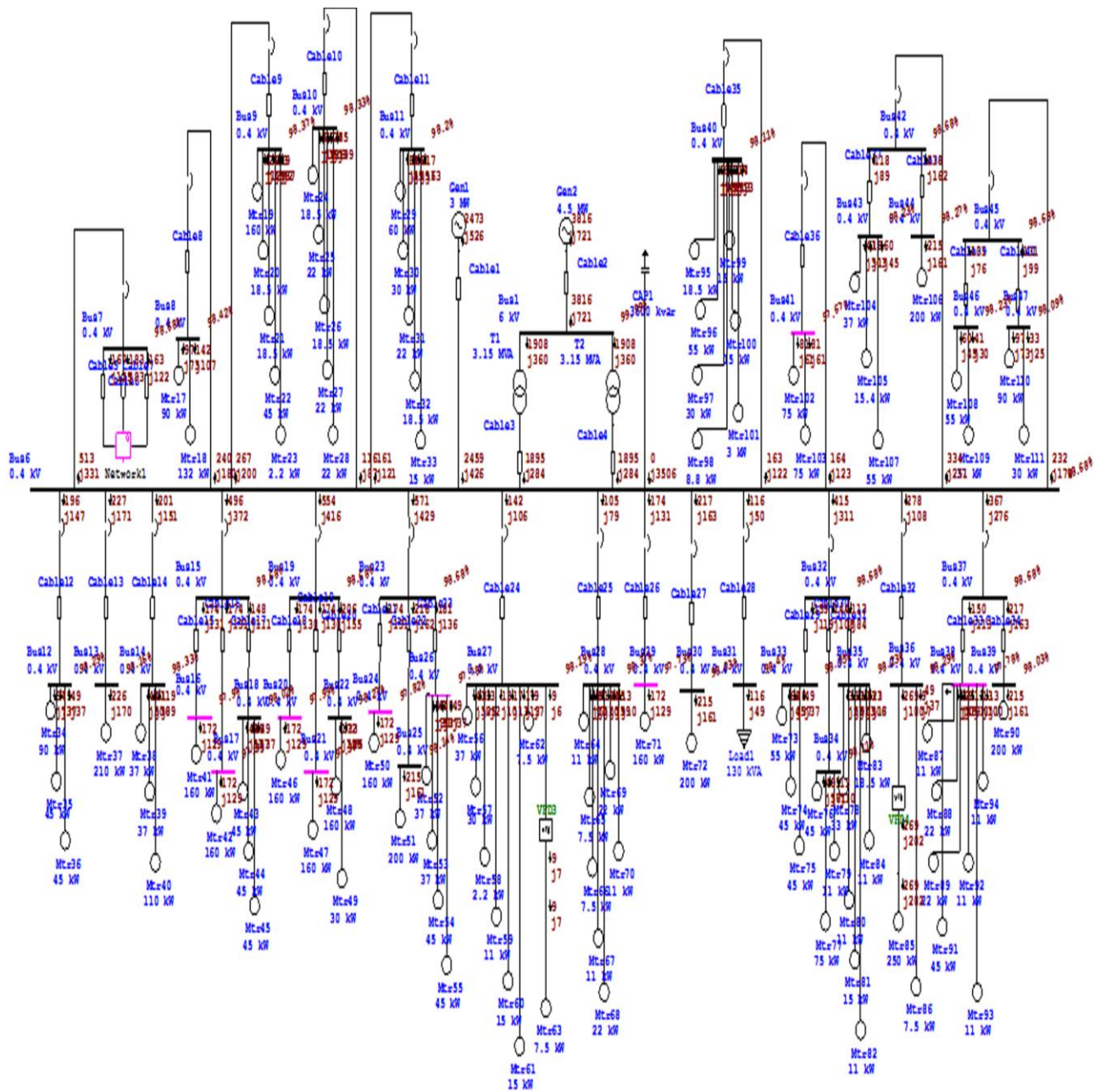
$$P = 6295 \text{ kW}$$

$$\begin{aligned} \theta_1 &= \text{Arc cos } 0.8977 \\ &= 26.14^\circ \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \theta_2 &= \text{Arc cos } 0.98 \\ &= 11.47^\circ \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_c &= P (\tan \theta_1 - \tan \theta_2) \\ &= 6295 \text{ kW} (\tan 26.14^\circ - \tan 11.47^\circ) \\ &= 1812.04 \text{ kVAR} \end{aligned}$$

Hasil perhitungan besar kapasitor yaitu sebesar 1800 kVAR. Nilai kapasitor tersebut akan dimasukkan pada parameter kapasitor bank pada *software* ETAP 12.6. Selanjutnya dengan melihat hasil dari simulasi ETAP 12.6 dapat dianalisis dampak dari pemasangan kapasitor bank yang ditambahkan pada sistem.



Gambar 5. Hasil simulasi aliran beban sistem kelistrikan di Pabrik Gula Trangkil setelah perbaikan faktor daya

Tabel 3. Hasil Report ETAP 12.6 tentang bus yang mengalami drop tegangan dalam kondisi marginal setelah perbaikan faktor daya

No.	Marginal Alerts Reports				
	Device ID	Condition	Rating Limit (kV)	Operating (kV)	% Operating
1	Bus 16	Under Voltage	0.400	0.392	97.9
2	Bus 17	Under Voltage	0.400	0.392	97.9
3	Bus 20	Under Voltage	0.400	0.392	98.0
4	Bus 21	Under Voltage	0.400	0.392	98.0
5	Bus 24	Under Voltage	0.400	0.391	97.8
6	Bus 26	Under Voltage	0.400	0.391	97.8
7	Bus 29	Under Voltage	0.400	0.391	97.7
8	Bus 38	Under Voltage	0.400	0.391	97.8
9	Bus 41	Under Voltage	0.400	0.391	97.7

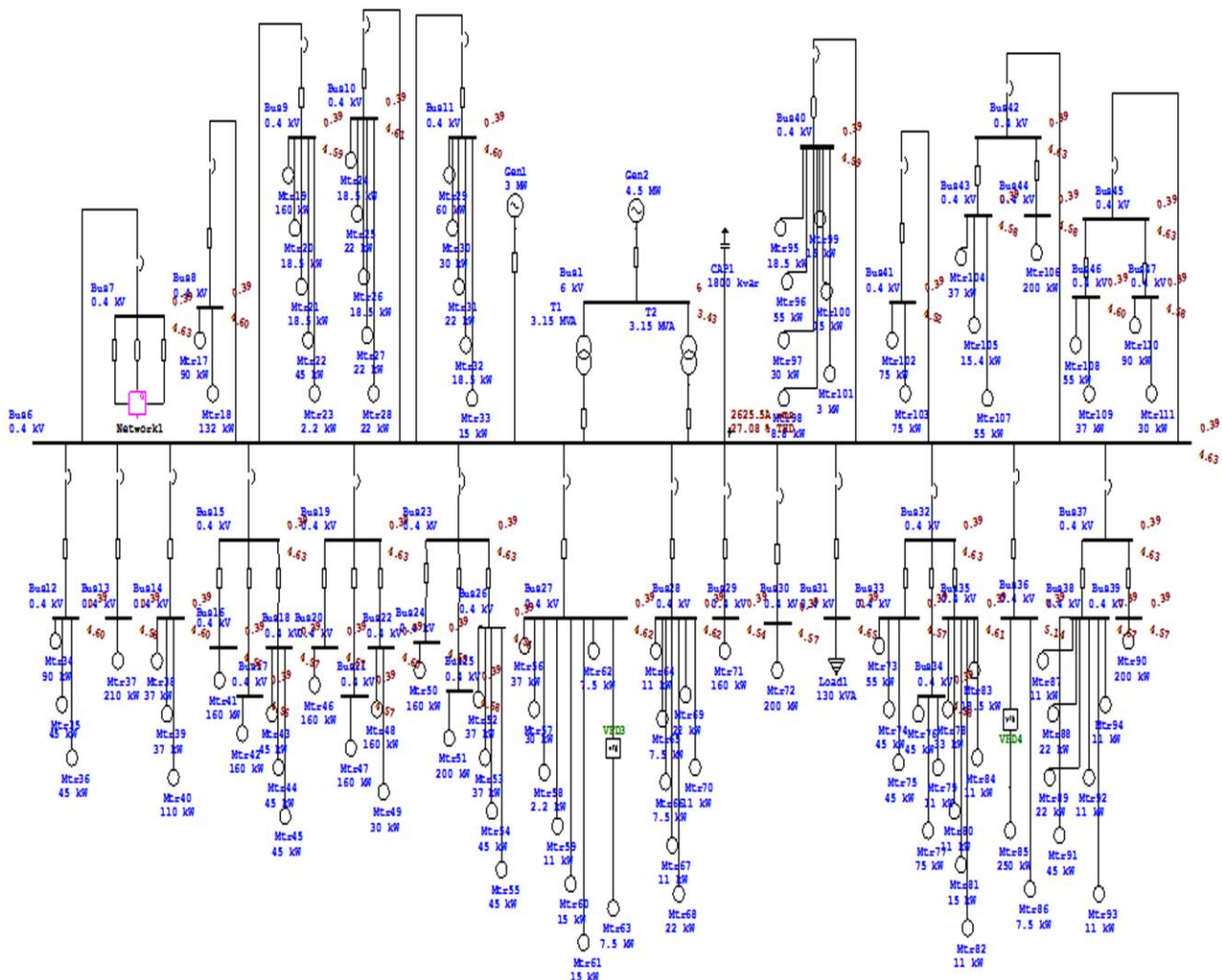
Tabel 4. Hasil Report ETAP 12.6 tentang kebutuhan total daya setelah perbaikan faktor daya

Summary Of Total Generation, Loading & Demand				
	MW	Mvar	MVA	% PF
Source (Swing Bus)	6.289	1.247	6.412	98.09 Lagging
Total Demand	6.289	1.247	6.412	98.09 Lagging
Total Motor Load	6.102	4.576	7.628	80.00 Lagging
Total Static Load	0.116	-3.456	3.458	3.35 Leading
Apparent Losses	0.071	0.127	-	-

Setelah dilakukan perbaikan faktor daya, kondisi sistem kelistrikan menjadi semakin baik. Hal tersebut dapat dilihat pada gambar 5, tabel 3, dan tabel 4. Gambar 5 menunjukkan *single line* diagram kelistrikan yang tadinya bus-bus yang mengalami drop tegangan dalam kondisi marginal berwarna merah muda semakin berkurang. Bus-bus yang masih mengalami drop tegangan pada kondisi marginal dapat dilihat dari tabel 3. Pada tabel 4 dapat dilihat setelah penambahan kapasitor bank, daya semu yang harus dikeluarkan oleh generator menjadi berkurang. Semula daya semu yang dibangkitkan sebesar 7.012 MVA turun menjadi 6.412 MVA. Daya reaktif juga berkurang dari 3.089 MVAR menjadi 1.247 MVAR. Rugi-rugi daya aktif juga turun dari 80 kW menjadi 71 kW. Hasil dari perbaikan faktor daya tersebut menunjukkan keadaan kualitas daya listrik semakin baik.

3.3 Simulasi Analisis Harmonik

Analisis harmonik dilakukan untuk mengetahui besar gangguan yang ditimbulkan oleh beban statik dan juga VFD pada sistem kelistrikan Pabrik Gula Trangkil Pati. Hasil analisis harmonik akan dijadikan acuan dalam perancangan filter harmonik yang akan digunakan pada sistem.



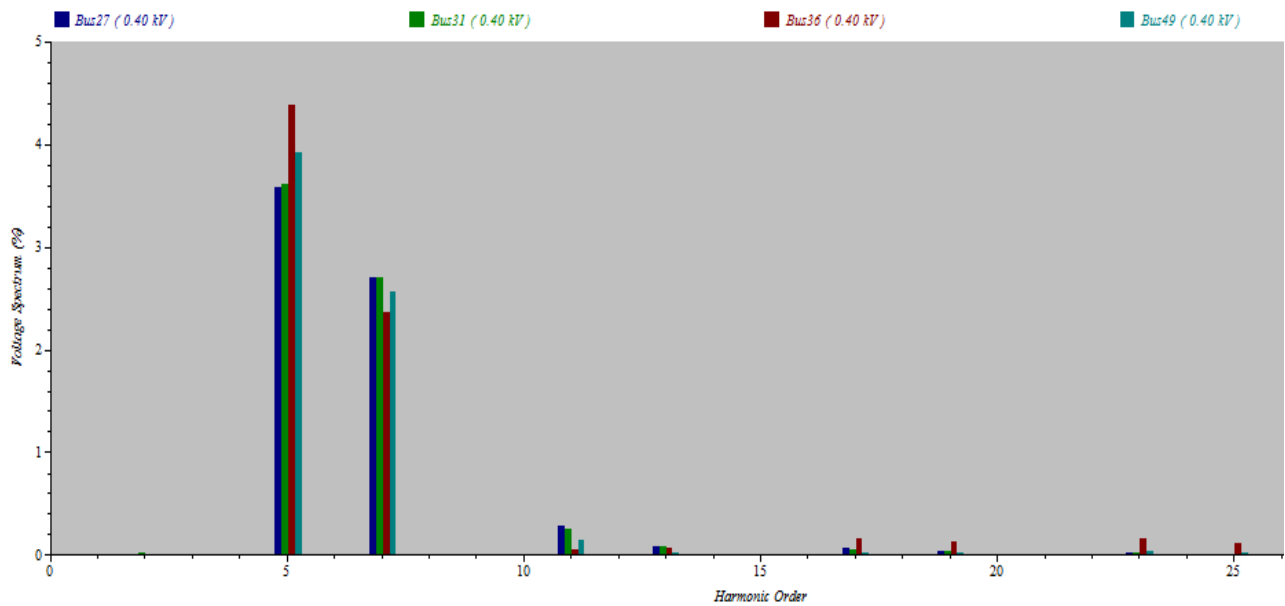
Gambar 6. Hasil Simulasi harmonik sistem kelistrikan pada Pabrik Gula Trangkil

Tabel 5. Hasil simulasi harmonik untuk distorsi arus pada bus yang terdapat sumber harmonik dari beban statik dan VFD

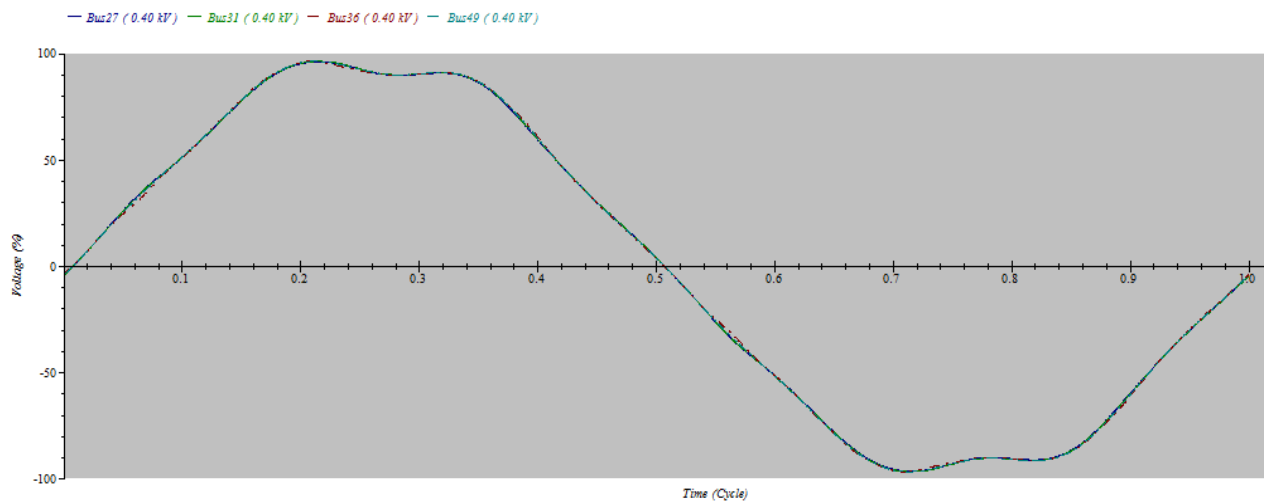
No.	Current Distortion				
	Bus ID	Fundamental (Amp)	RMS (Amp)	ASUM (Amp)	THD (%)
1	Bus 27	261.66	261.76	274.7	2.86
2	Bus 31	182.50	182.59	194.25	3.23
3	Bus 36	441.69	482.13	769.81	43.76
4	Bus 49	297.94	313.67	462.40	32.92

Tabel 6. Hasil simulasi harmonik untuk distorsi tegangan pada bus yang terdapat sumber harmonik dari beban statik dan VFD

No.	Voltage Distortion				
	Bus ID	Fundamental (%)	RMS (%)	ASUM (%)	THD (%)
1	Bus 27	97.04	97.15	103.82	4.62
2	Bus 31	97.26	97.37	104.05	4.65
3	Bus 36	97.14	97.27	104.58	5.14
4	Bus 49	97.32	97.43	104.08	4.81



Gambar 7. Diagram spektrum harmonik



Gambar 8. Gelombang sinusoidal yang terdistorsi

Hasil simulasi harmonik dari software ETAP 12.6 ditunjukkan oleh gambar 6, tabel 5, tabel 6, gambar 7 dan gambar 8. Tabel 5 menunjukkan nilai dari THD arus (THDi) dari bus-bus yang terdapat sumber harmonik dari beban statik dan VFD. Nilai THDi yang cukup tinggi terjadi pada bus 36 dan bus 49. Bus 36 memiliki THDi sebesar 43.76% dan bus 49 memiliki THDi sebesar 32.92%. Selanjutnya tabel 6 merupakan tabel yang menunjukkan nilai THD tegangan (THDv) dari bus-bus yang terdapat sumber harmonik dari beban statik dan VFD. THDv yang cukup tinggi ada pada bus 36 dan 49. THDv bus 36 sebesar 5.14% sedangkan THDv bus 49 sebesar 4.81%. Dari nilai THDi dan THDv yang cukup besar tadi maka pada bus 36 dan 49 yang akan dipasang filter harmonik.

Berdasarkan gambar diagram spektrum harmonik pada gambar 7, orde yang akan difilter yaitu orde 5 dan orde 7 karena pada orde tersebut terjadi distorsi harmonik yang melebihi standar. Distorsi harmonik yang terjadi membuat gelombang sinus tidak lagi berbentuk sinus murni seperti yang ditunjukkan pada gambar 8.

3.4 Perancangan Filter Harmonik

Perancangan filter harmonik dilakukan untuk mereduksi nilai harmonik yang terjadi pada sistem kelistrikan. Filter dipasang pada bus yang memiliki gangguan harmonik melebihi standar. Jenis filter yang digunakan adalah *Single Tuned Filter*. Filter ini hanya bekerja pada satu orde yang akan difilter. Orde yang akan difilter adalah orde 5 dan orde 7. Berikut ini merupakan langkah dalam menentukan nilai filter yang akan dipasang :

1. Memperbaiki faktor daya
Menentukan nilai perbaikan faktor daya yang selanjutnya digunakan untuk mencari nilai kapasitor dengan persamaan:

$$Q_c = P(\tan \theta_1 - \tan \theta_2) \quad (2)$$

2. Menentukan nilai dari kapasitansi kapasitor

Sebelum mencari nilai kapasitor, terlebih dahulu menentukan nilai dari impedansi kapasitor dengan persamaan:

$$X_c = \frac{V^2}{Q_c} \quad (3)$$

Setelah nilai impedansi kapasitor diperoleh lalu menentukan nilai Kapasitor dengan persamaan :

$$C = \frac{1}{2\pi f X_c} \quad (4)$$

3. Menentukan nilai induktor

Menentukan nilai induktor dan impedansi induktor dengan persamaan :

$$L = \frac{1}{c(2\pi f n)^2} \quad (5)$$

$$X_L = 2\pi f L \quad (6)$$

4. Menentukan nilai Resistor

Tahap terakhir yaitu menentukan nilai resistor dengan persamaan :

$$R = \frac{X_L}{Q} \quad (7)$$

Setelah melakukan perhitungan, maka nilai filter harmonik yang dimasukkan dalam simulasi pada *software* ETAP 12.6 ditunjukkan oleh tabel 7.

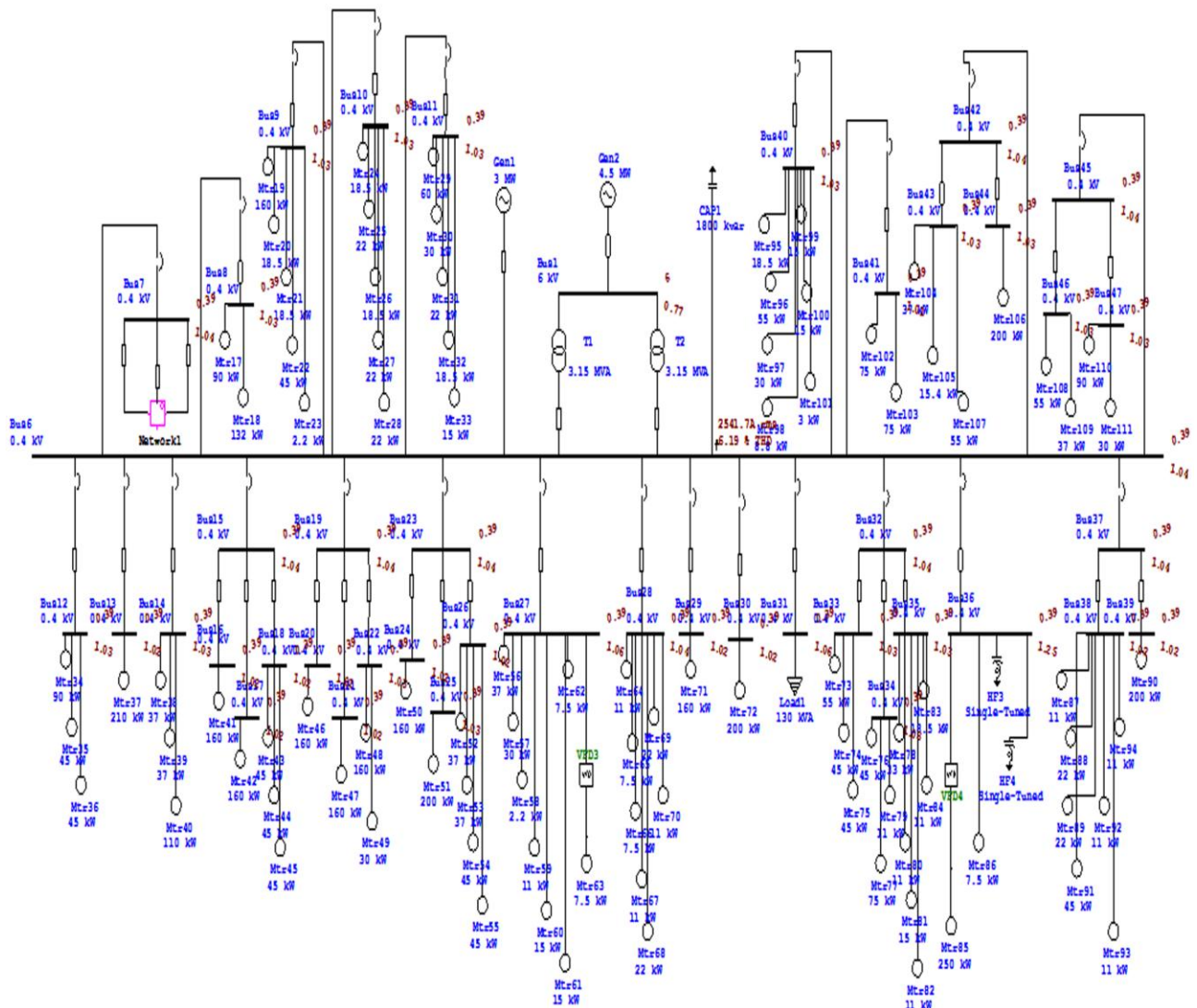
Tabel 7. Parameter filter harmonik jenis *Single-Tuned*

Filter Input Data

Filter Type: Single-Tuned

Filter	Connected Bus	Capacitor C1			Inductor L1			R
ID	ID	kV	Max kV	kvar	Xl	Q Fact.	Max I	Ohm
HF4	Bus36	0.400	0.600	47.7	0.069	40.00	600.0	0.0017
HF3	Bus36	0.400	0.600	47.7	0.138	40.00	600.0	0.0034
HF2	Bus49	0.400	0.600	29.8	0.113	40.00	600.0	0.0028
HF1	Bus49	0.400	0.600	29.8	0.22	40.00	600.0	0.0050

Tahap selanjutnya adalah melakukan analisis hasil simulasi harmonik dari *software* ETAP 2.6 setelah penambahan filter harmonik pada sistem. Analisis dilakukan untuk mengetahui nilai harmonik pada sistem kelistrikan Pabrik Gula Trangkil Pati setelah dipasang filter harmonik jenis *single-tuned*.



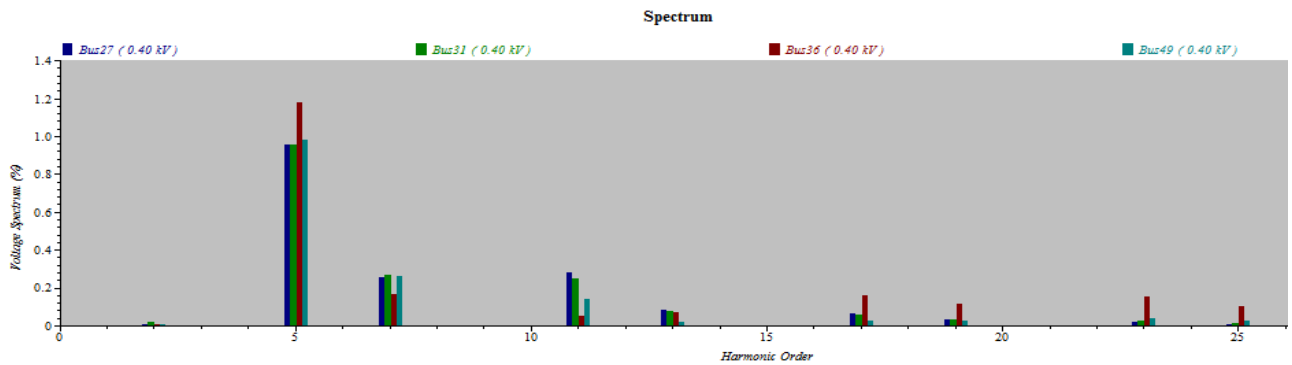
Gambar 9. Hasil Simulasi harmonik sistem kelistrikan pada Pabrik Gula Trangkil setelah pemasangan filter harmonik

Tabel 8. Hasil simulasi harmonik untuk distorsi arus setelah pemasangan filter

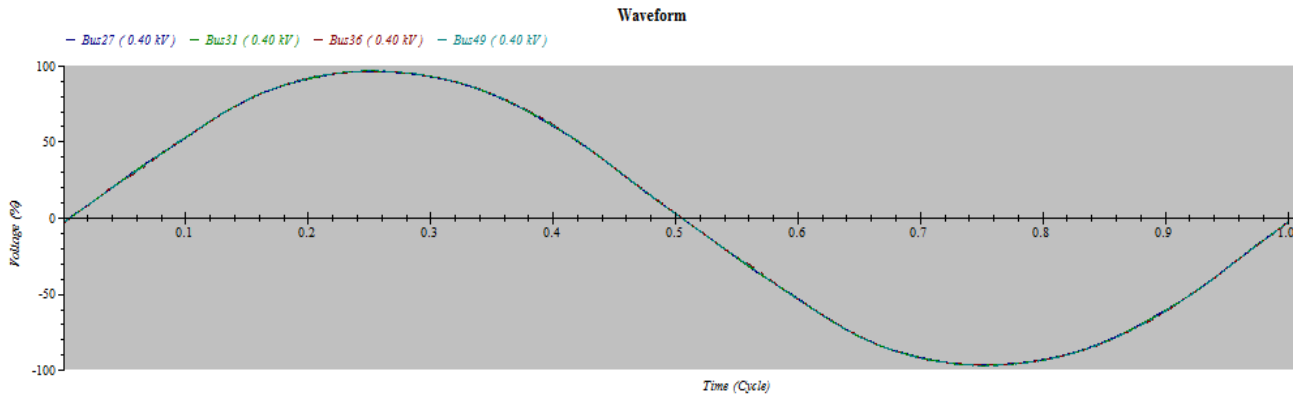
No.	Current Distortion				
	Bus ID	Fundamental (Amp)	RMS (Amp)	ASUM (Amp)	THD (%)
1	Bus 36	412.15	417.89	566.27	16.75
2	Bus 49	273.47	274.68	336.49	9.41

Tabel 9. Hasil simulasi harmonik untuk distorsi tegangan setelah pemasangan filter

No.	Voltage Distortion				
	Bus ID	Fundamental (%)	RMS (%)	ASUM (%)	THD (%)
1	Bus 36	97.37	97.38	99.37	1.25
2	Bus 49	97.48	97.49	99.00	1.05



Gambar 10. Diagram spektrum harmonik setelah pemasangan filter haronik



Gambar 11. Gelombang sinusoidal yang terdistorsi setelah pemasangan filter harmonik

Hasil simulasi harmonik setelah pemasangan filter harmonik dapat dilihat pada gambar 9, tabel 8, tabel 9, gambar 10 dan gambar 11. Dari tabel 8 dan tabel 9 dapat diketahui bahwa nilai dari THDi dan THDv pada bus 36 dan bus 49 mengalami penurunan. Pada bus 36 nilai THDi turun sebesar 27.01% dari 43.76% menjadi 16.75%, sedangkan nilai THDv turun sebesar 3.89% dari 5.14% menjadi 1.25%. Untuk bus 49 nilai THDi turun sebesar 23.51% dari 32.92% menjadi 9.41%, sedangkan nilai THDv turun sebesar 3.76% dari 4.81% menjadi 1.05%. Spektrum harmonik pada orde yang difilter juga turun yang ditunjukkan oleh gambar 10. Setelah nilai harmonik turun, bentuk gelombang sinus dari sistem telah menjadi sinus murni kembali. Gambar gelombang sinus hampir tidak ada ripple lagi seperti ditunjukkan oleh gambar 11.

4. PENUTUP

Berdasarkan analisis kualitas daya listrik yang dilakukan pada sistem kelistrikan Pabrik Gula Trangkil Pati yang disimulasikan dengan menggunakan *software* ETAP 12.6 dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Hasil simulasi aliran beban menunjukkan faktor daya pada Pabrik Gula Trangkil Pati adalah sebesar 89.77% *lagging*. Dengan faktor daya tersebut, daya semu sebesar 7.012 MVA dapat diubah menjadi daya aktif sebesar 6.295 MW. Selain itu juga terjadi drop tegangan pada hampir di seluruh bus dalam kondisi marginal.
2. Kapasitor bank yang digunakan untuk memperbaiki faktor daya sistem kelistrikan dari 89.77% *lagging* menjadi 98% *lagging* adalah sebesar 1800 kVAR.
3. Perbaikan faktor daya dapat meningkatkan efektivitas daya yang dihasilkan di Pabrik Gula Trangkil. Hal itu dapat dilihat dari daya semu yang turun dari 7.012 MVA menjadi 6.412 MVA untuk menghasilkan daya aktif sebesar 6.295 MW. Drop tegangan pada bus-bus kembali pada kondisi normal dari kondisi marginal. Tetapi masih ada beberapa bus yang mengalami drop tegangan dalam kondisi marginal yaitu bus 16, bus 17, bus 21 bus 24, bus 26, bus 29, bus 38, dan bus 41.
4. Hasil simulasi harmonik menunjukkan nilai harmonik yang cukup besar pada bus 36 dan bus 49 akibat dari gangguan harmonik dari beban statik dan VFD. Bus 36 memiliki THDi sebesar 43.76% dan THDv sebesar 5.14%, sedangkan bus 49 memiliki THDi sebesar 32.92% dan THDv sebesar 4.81%.
5. Pemasangan filter harmonik dapat menurunkan nilai harmonik pada bus 36 dan 49. Pada bus 36 nilai THDi turun sebesar 27.01% dari 43.76% menjadi 16.75%, sedangkan nilai THDv turun sebesar 3.89% dari 5.14% menjadi 1.25%. Untuk bus 49 nilai THDi turun sebesar 23.51% dari 32.92% menjadi 9.41%, sedangkan nilai THDv turun sebesar 3.76% dari 4.81% menjadi 1.05%.

PERSANTUNAN

Penulis mengucapkan syukur kepada Allah SWT atas limpahan rahmat dan ridho-Nya dan juga Rasulullah SAW sehingga penelitian ini dapat terselesaikan dengan baik. Ucapan terimakasih yang pertama penulis berikan kepada kedua orang tua tercinta atas motivasi yang telah diberikan. Kedua, penulis mengucapkan terimakasih kepada Bapak Agus Supardi S.T, M.T selaku dosen pembimbing yang telah memberi bimbingan dalam penelitian tugas akhir ini. Yang terakhir, penulis mengucapkan terimakasih kepada Bapak Gunadi, Bapak Imam, dan seluruh operator Pabrik Gula Trangkil Pati yang telah membantu dalam pengambilan data yang dilakukan oleh penulis.

DAFTAR PUSTAKA

- Khanchi, S., Garg, V. K. 2013. *Power Factor Improvement of Induction Motor by Using Capacitors*. Journal of Engineering Trends and Technology, 4, 2967-2971.
- Kusumalatha, Y., Saibabu, C., Obulesu, Y. P. 2012. *Minimization of Harmonic Distortion of Industrial Motor Drives with Active Power Filter in Paper Mill*. Journal of Engineers and Computer Scientists, 2, 1-6.
- Mhawi, E., Daniyal, H., Sulaiman, M. H. 2015. *Advanced Techniques in Harmonic Suppression via Active Power Filter*. Journal of Power Electronics and Drive System, 2, 185-189.
- Tamilvani, M., Nithya, K., Srinivasan, M., Prabha SU. 2014. *Harmonic Reduction in Variable Frequency Drives Using Active Power Filter*. Journal of Electrical Engineering and Informatics, 3, 119-126.
- Tiwari, A. K., Sharma, D., Sharma, V. K. 2014. *Automatic Power Factor Correction Using Capacitive Bank*. Journal of Engineering Research and Applications, 4, 393-395.